

# ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ ЛІНІЙНОГО ПРОГРАМУВАННЯ ДЛЯ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОЇ КОНФІГУРАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ

Баженов В.А., к.т.н., доц., Шпак Д.В., магістрант

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра електричних мереж та систем

**Вступ.** Для керування розвитком електричних мереж енергосистем вибирають напругу і конфігурацію електричних мереж, встановлюють черговість спорудження електроенергетичних об'єктів. Суму динамічних дисконтованих витрат по всіх елементах електричної мережі використовують як критерій оптимальності. Для вирішення цього завдання мають бути враховані динаміка розвитку енергосистеми, вимоги до надійності і якості енергопостачання, обмеження за пропускною здатністю ліній електропередачі і трансформаторних підстанцій [1-2].

Задачу, що розглядається, розв'язують для заданого плану вводу потужностей, що генеруються. Основні дані оптимізації — рівні навантажень електричної мережі на різних етапах її розвитку; розрахункова схема електричної мережі, яка включає в себе наявні і заплановані до спорудження лінії електропередачі та підстанції; технічні і економічні характеристики елементів мережі. В методах і алгоритмах оптимізації керування розвитком електричних мереж надійність енергопостачання вузлів навантаження враховують зазвичай введенням додаткових вимог до конфігурації мережі.

**Мета роботи.** Метою роботи є розробка методів та алгоритмів оптимізації розвитку електричних мереж сучасних енергосистем, що забезпечують ефективно розв'язання поставленої задачі розвитку, виконання технічних та ресурсних обмежень у вигляді рівностей та нерівностей. Під час оптимізації розвитку вибираються напруга й конфігурація електричних мереж, встановлюється черговість спорудження об'єктів енергосистем.

**Матеріали і результати досліджень.** Основна складність розрахунків використання дискретних параметрів силових трансформаторів і ліній електропередачі викликають певні проблеми при оптимізації електричної системи. Виходячи з цього можна використовувати метод економічних інтервалів. Цей метод застосовують для зменшення розмірності задачі, видаляючи параметри електричної мережі, які можна уявити як функцію від потоку потужності по силових трансформаторах і ділянках лінії електропередачі. Щоб застосовувати цей метод повинна виконуватися умова:

$$Z_i(P_i) = \min\{Z_{i1}(P_i), Z_{i2}(P_i), \dots, Z_{iV}(P_i)\},$$

де:  $V$  – загальна кількість можливих варіантів виконання вітки електромережі.

Одним із основних завданням є знаходження витрат для ЛЕП. Їх знаходять за наступним виразом:

$$Z_V = Z_{V0} \cdot l \quad (1)$$

де  $Z_V$  – приведені витрати на будівництво та експлуатацію одиниці довжини ЛЕП з перерізом  $Z_{V0}$ ;

$l$  – довжина лінії електропередавання.

Функцію дисконтованих витрат ЛЕП можливо представити такому вигляді:

$$Z_{V0} = a_{V0} + b_{V0} \cdot P^2 \quad (2)$$

де  $a_{V0}$  та  $b_{V0}$  – коефіцієнти параболи, які визначаються за формулами:

$$a_{V0} = K_{V0} + \frac{P_a \cdot K_{V0}}{E}; \quad b_{V0} = \frac{r_{V0} \cdot Z_e \cdot \tau}{U_H^2 \cdot \cos\varphi^2 \cdot E}$$

Функцію дисконтованих витрат можливо записати для будь-якої кількості перерізів, використовуваних для даного класу напруги. В результаті відповідно отримуємо сімейство парабол. Функція оптимальних витрат буде кривою, яка огинає дані параболи знизу.

Для лінії 110 кВ, виконаної на металевих опорах збудуємо функцію оптимальних витрат. Будемо використовувати скорочену номенклатуру стандартних перерізів, а саме: 70 мм<sup>2</sup>, 120 мм<sup>2</sup>, 240 мм<sup>2</sup>.

Графіки функцій дисконтованих витрат лінії 110 кВ для різних перерізів проводів зображені на рис. 1. Як видно з рис. 1, функція оптимальних витрат є нижньою кривою лінією, що огинає сімейство парабол.

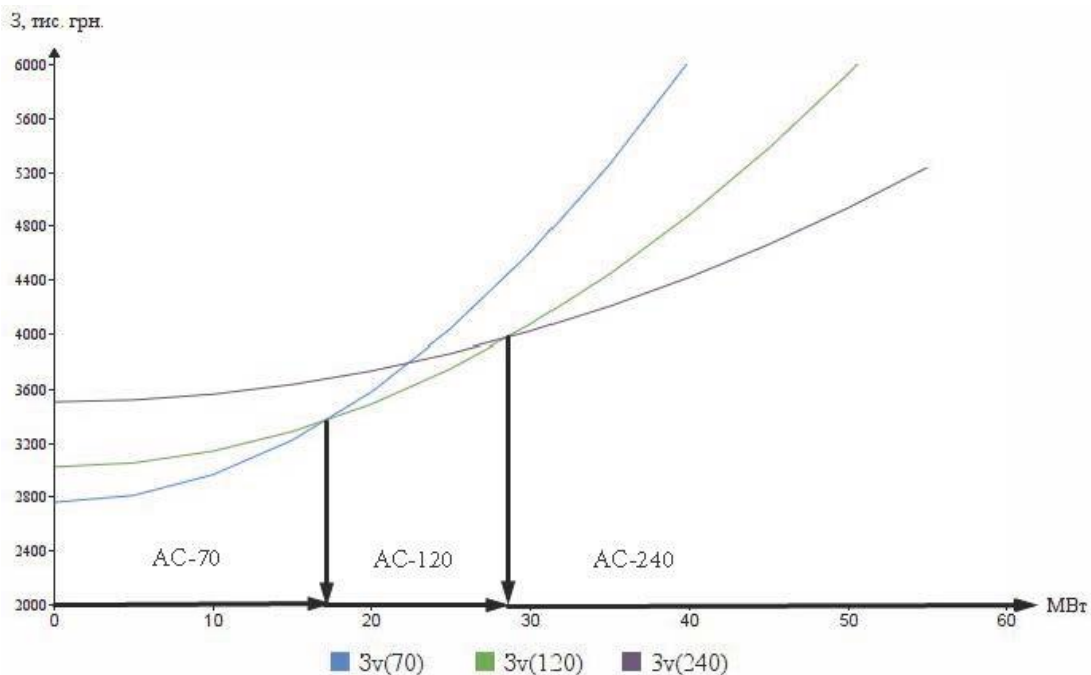


Рисунок 1 – Функція питомих приведених витрат на спорудження та експлуатацію

Використовувати функцію сумарних дисконтованих витрат  $Z_i=f(P_i)$  складно. Це пов'язано з тим, що перші похідні на границях економічних інтервалів є розірваними. Тому наведену функцію заміняють на більш простішу. Тому з цією метою використовують апроксимацію.

Таким чином одним з методів апроксимації є метод найменших квадратів. В цьому методі за допомогою даних значень функції можна знайти многочлен, який точно описує необхідну функцію. Цей многочлен має вигляд:

$$y(x) = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2 + \dots + a_k \cdot x^k + \dots + a_M \cdot x^M \quad (3)$$

Використовуючи метод найменших квадратів виконується вибір многочлену під час застосування, якого наступна функція має мінімальне значення:

$$\sum_{i=1}^N (y_i - y(x_i))^2 = f(a_0, a_1, \dots, a_M)$$

Графік апроксимованої функції зображений на рис.2.

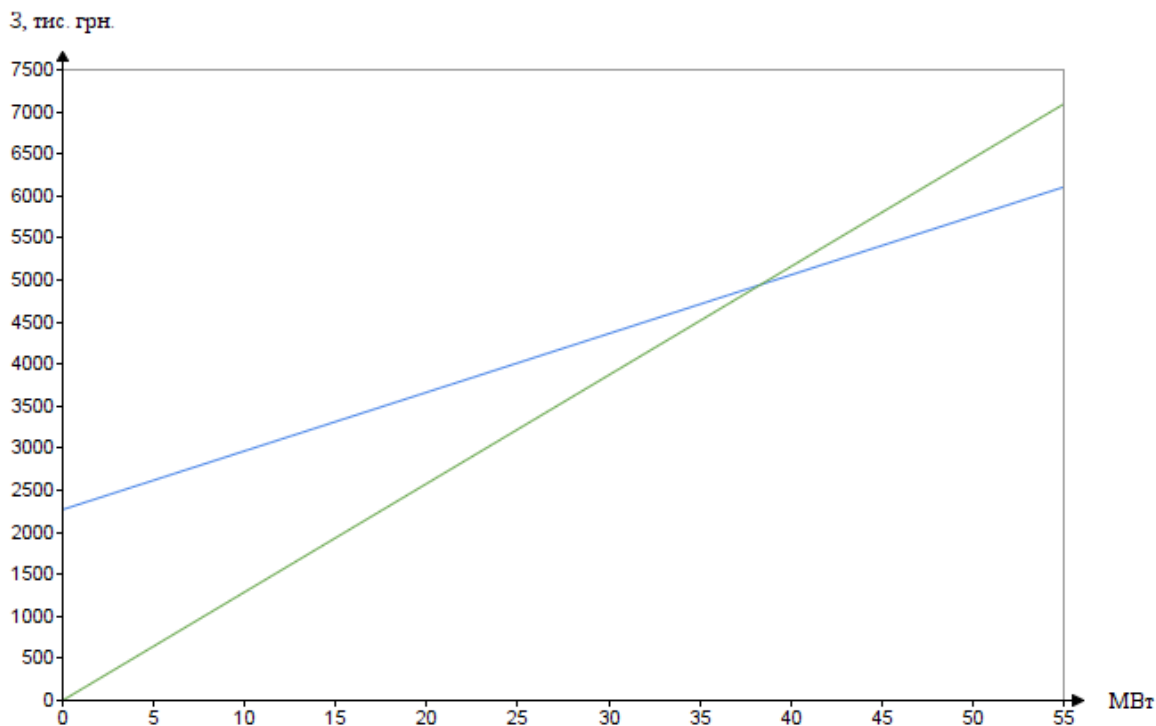


Рисунок 2 – Апроксимована функція дисконтованих витрат

**Висновки.** За допомогою методу найменших квадратів у роботі проведено лінійну апроксимацію функції сумарних дисконтованих витрат для проводів перерізом 70 мм<sup>2</sup>, 120 мм<sup>2</sup>, 240 мм<sup>2</sup>, що виконана на металевих опорах. Апроксимацію виконано для проектованої та для існуючої лінії 110 кВ. Коефіцієнти апроксимації дисконтованих витрат для проектованої лінії: a<sub>0</sub>=2269,71, a<sub>1</sub>=69,75. Коефіцієнт апроксимації існуючої лінії a<sub>1</sub>=128,96.

Графічне зображення апроксимованих функцій на рис. 2 та 3 дає змогу побачити залежність приведених витрат від транзиту потужності на проектованій та існуючій повітряній лінії 110 кВ.

#### Перелік посилань

1. Баженов В.А. Моделі оптимального розвитку енергосистем. Навчальний посібник. Рекомендовано Методичною радою КПІ імені Ігоря Сікорського (протокол №5 від 26.05.2022р.) для здобувачів ступеня бакалавра спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, Київ, 2022,70с.

2. Lomane, T., Mahnitko, A., Berzina, K., & Zicmane, I. (2018). Method of the Electrical Network Configuration Selection. In 2018 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2018 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe, pp. 1–4.